

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 制御の目標値から制御対象プロセスに出力する操作量を演算し、制御対象プロセスを数式表現した内部モデルにて制御結果である制御対象プロセスの制御量に相当する参照制御量を演算し、制御量と参照制御量との差をフィードバックすることにより制御を行うIMCコントローラにおいて、
 入力された目標値を第1の時定数によって決定される特性で出力する目標値フィルタ部と、
 前記目標値フィルタ部の出力からフィードバック量を減算する第1の減算処理部と、
 前記第1の減算処理部の出力を第2の時定数によって決定される特性で出力する目標値・外乱フィルタ部と、内部モデルのパラメータに基づいて前記目標値・外乱フィルタ部の出力から操作量を演算する操作部とからなる操作量演算部と、
 前記内部モデルのパラメータを記憶する内部モデル記憶部と、
 前記内部モデルのパラメータに基づいて前記操作量演算部から出力された操作量から参照制御量を演算する内部モデル出力演算部と、
 制御対象プロセスの制御量から前記内部モデル出力演算部から出力された参照制御量を減算して前記フィードバック量を出力する第2の減算処理部と、
 前記内部モデル記憶部から出力された内部モデルのむだ時間に基づいて前記第1の時定数及び第2の時定数を演算して出力する時定数変更処理部とを有することを特徴とするIMCコントローラ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は汎用コントローラに関し、特にIMC (Internal Model Control) 構造の制御アルゴリズムを用いたコントローラに関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来より汎用コントローラとしてPID制御を用いたものが一般に使用されている。PIDコントローラは、比例動作P、積分動作I、微分動作Dを加え合わせた動作を行う操作部によって、目標値（例えばこのコントローラが室内空調機であれば室内温度設定値に相当する）とフィードバック量との差からこのコントローラの出力である操作量（室内空調機から出る温風又は冷風の温度）を演算し、この操作量を制御対象プロセス（室内環境）へ出力してその制御結果である制御量（室内温度）をフィードバック量として戻すフィードバック制御系である。しかし、PIDコントローラには、操作量が出力されてから制御対象プロセスにおける制御*

2

*量に変化が現れるまでの時間（例えば室内空調機ならば温風が出てから室内温度が上昇するまでの時間）であるむだ時間が大きい場合、本来の動作よりも過大な操作量を出力し、制御量がオーバーシュートしたり振動したりするので、むだ時間への対応が困難であるという問題点があった。

【0003】そこで、制御対象プロセスを数式表現した内部モデルを組み込んで制御を行うIMC構造の制御アルゴリズムを用いたコントローラが提案されている。図4はこのIMCコントローラを用いた制御系のブロック線図である。13は目標値から後述するフィードバック量を減算する第1の減算処理部、12は第1の減算処理部13の出力の変化が急激に伝わりなくするためのフィルタ部、14はフィルタ部12の出力に基づいて操作量を演算する操作部、16は制御対象プロセスを数式で近似したものであって制御対象プロセスの制御量に相当する参照制御量を出力する内部モデル、18は制御量から内部モデル16からの参照制御量を減算してフィードバック量を出力する第2の減算処理部、20は制御対象プロセスである。また、F、Gc、Gm、Gpはそれぞれフィルタ部12、操作部14、内部モデル16、制御対象プロセス20の伝達関数、rは目標値、uは操作量、dは例えば室内環境に対する室外環境等に相当する外乱、yは制御量、ymは参照制御量、eはフィードバック量である。

【0004】次に、このようなIMCコントローラの動作を説明する。まず、第1の減算処理部13にて目標値rからフィードバック量eが減算され、この結果が目標値rの急激な変化が伝わりなくするためのフィルタ部12に出力される。次いで、操作部14にてフィルタ部12の出力から操作量uが演算され、制御対象プロセス20及びコントローラの内部モデル16へ出力される。そして、第2の減算処理部18にて制御対象プロセス20の制御量yから制御対象プロセス20の近似的な動作をする内部モデル16からの参照制御量ymが減算され、この結果がフィードバック量eとして第1の減算処理部13へフィードバックされるフィードバック制御系が構成されている。

【0005】このようなIMCコントローラの内部モデル16は、制御対象プロセス20と全く同一になるように数式表現されるのが理想的であり、また操作部14は、内部モデル16の伝達関数の逆特性（1/Gm）になるのが理想的であるが、内部モデル16にあるむだ時間の要素については逆数化は不可能なので、通常はむだ時間の要素は無視する。

【0006】よって、制御量yは、このような構成により目標値r、外乱dから次式にて求めることができる。

$$y = F \times G_p \times G_c \times r / \{ 1 + F \times G_c \times (G_p - G_m) \} \\ + (1 - F \times G_m \times G_c) \times d / \{ 1 + F \times G_c \times (G_p - G_m) \} \quad \dots (1)$$

3

ここで、内部モデル16の伝達関数 G_m が制御対象プロセス20の伝達関数 G_p に等しく、操作部14の伝達関数 G_c が内部モデル16の伝達関数の逆数($1/G_m = *$

$$y = F \times r + (1 - F) \times d$$

【0007】更に、目標値 r に急激な変化がない理想的な条件であればフィルタ部12は不要となり、 $F = 1$ にできるので、制御量 y は目標値 r と等しくなり($y = r$)、外乱 d の影響が全くない制御を実現できることになる。また、図4の制御系で外乱 d に着目すると、制御対象プロセス20と内部モデル16に大きなむだ時間があ

ったとしても、両者は操作量 u に対して同じ特性を示すので、第2の減算処理部18の出力であるフィードバック量 e は外乱 d のみとなり、外乱 d を抑制できることが分かる。

【0008】このようなIMCコントローラは、通常、制御対象プロセス20と内部モデル16の誤差が大きくなったときの外乱 d に対する安定性を示すロバスト安定性、及び同様に誤差が大きくなったときの性能を示すロバスト性能についての設計条件に基づいて設計される。また、フィルタ部12は、このようなモデル同定技術によ

って内部モデル16が決定された後に、内部モデル16の制御対象プロセス20とのモデル同定精度に基づいて制御の知識を有する専門家によって調整される必要がある。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】従来のIMCコントローラは以上のように構成されているので、制御の安定化を行うためのフィルタ部の特性を制御対象プロセスに応じて制御の知識を有する専門家が調整する必要があり、汎用的に利用するコントローラとして不都合であるという問題点があった。本発明は、上記課題を解決するために、制御対象プロセスのモデル同定が行われたときにフィルタ部の特性を調整する必要のない汎用性の高いIMCコントローラを提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、入力された目標値を第1の時定数によって決定される特性で出力する目標値フィルタ部と、目標値フィルタ部の出力からフィードバック量を減算する第1の減算処理部と、第1の減算処理部の出力を第2の時定数によって決定される特性で出力する目標値・外乱フィルタ部と、内部モデルのパラメータに基づいて目標値・外乱フィルタ部の出力から操作量を演算する操作部とからなる操作量演算部と、内部モデルのパラメータを記憶する内部モデル記憶部と、内部モデルのパラメータに基づいて操作量演算部から出力された操作量から参照制御量を演算する内部モデル出力演算部と、制御対象プロセスの制御量から内部モデル出力演算部から出力された参照制御量を減算してフィードバック量を出力する第2の減算処理部と、内部モデル記憶部から出力された内部モデルのむだ時間に基づいて※50

4

* $1/G_p$)に等しい理想的な状態を仮定すると、式(1)は次式ようになる。

$$\dots (2)$$

※第1の時定数及び第2の時定数を演算して出力する時定数変更処理部とを有するものである。

【0011】

【作用】本発明によれば、時定数変更処理部によって内部モデル記憶部から出力された内部モデルのむだ時間に基づいて第1の時定数及び第2の時定数が演算される。そして、目標値が第1の時定数によって特性が決まる目標値フィルタ部に入力され、第1の減算処理部にて目標値フィルタ部の出力からフィードバック量が減算される。次いで、この結果が第2の時定数によって特性が決まる操作量演算部内の目標値・外乱フィルタ部に出力され、操作部にてこの結果から操作量が演算され、制御対象プロセス及び内部モデル出力演算部へ出力される。そして、第2の減算処理部にて制御対象プロセスの制御量から内部モデル出力演算部からの参照制御量が減算され、この結果がフィードバック量として第1の減算処理部へフィードバックされるフィードバック制御系となる。

【0012】

【実施例】図1は本発明の1実施例を示すIMCコントローラのブロック図、図2はこのIMCコントローラを用いた制御系のブロック線図である。図1において、1は図示しないオペレータによって設定された目標値 r をこのコントローラに入力する目標値入力部、2は目標値入力部1からの目標値 r を後述する時定数変更処理部から出力された第1の時定数によって決定される特性で出力する目標値フィルタ部、3は目標値フィルタ部2の出力からフィードバック量 e を減算する第1の減算処理部、4は後述する時定数変更処理部から出力された第2の時定数と後述する内部モデル記憶部から出力されたパラメータとに基づいて第1の減算処理部3の出力から操作量 u を演算する操作量演算部、5は操作量演算部4から出力された操作量 u を図1では図示しない制御対象プロセスへ出力する信号出力部である。

【0013】また、6aはこのIMCコントローラの内部モデルのパラメータを記憶する内部モデル記憶部、6bは内部モデル記憶部6aから出力されたパラメータに基づいて内部モデルとしての演算を行い参照制御量 y_m を出力する内部モデル出力演算部、7は制御対象プロセスからの制御量 y をこのIMCコントローラに入力する制御量入力部、8は制御量入力部7から出力された制御量 y から内部モデル出力演算部6bから出力された参照制御量 y_m を減算してフィードバック量 e を出力する第2の減算処理部、9は内部モデル記憶部6aから出力された内部モデルのむだ時間に基づいて第1の時定数及び第2の時定数を決定する時定数変更処理部である。

【0014】図2において、4aは操作量演算部4の内部にあって、第1の減算処理部3の出力を時定数変更処理部9から出力された第2の時定数によって決定される特性で出力する目標値・外乱フィルタ部、4bは同じくその内部にあって目標値・外乱フィルタ部4aの出力から操作量uを演算する操作部、6は内部モデル記憶部6a及び内部モデル出力演算部6bからなる内部モデル、F1は目標値フィルタ部2の伝達関数、F2は目標値・外乱フィルタ部4aの伝達関数である。なお、図2は図1のIMCコントローラを制御対象プロセス20と外乱dを含め、時定数変更処理部9を除いて制御系として書*

$$T1 = A \times Lm$$

$$T2 = B \times Lm$$

ここで、Lmは内部モデル6のむだ時間、A、Bはある定数である。これで、目標値フィルタ部2及び目標値・外乱フィルタ部4aの特性、すなわち伝達関数F1及びF2が決定される。

【0016】次に、目標値rはこのIMCコントローラ※

$$F1 = 1 / (1 + T1 \times s)$$

次に、第1の減算処理部3は、この目標値フィルタ部2の出力から第2の減算処理部8から出力されるフィードバック量eを減算する。

【0017】そして、操作量演算部4内の目標値・外乱★

$$F2 = 1 / (1 + T2 \times s)$$

また、同じくその内部の操作部4bは、目標値・外乱フィルタ部4aの出力から操作量uを演算するが、その伝達関数Gcは内部モデル記憶部6aから出力された内部☆

$$Gc = (1 + Tm \times s) / Km$$

ここで、Km、Tmはそれぞれ内部モデル6のゲイン、時定数である。

$$F2 \times Gc = (1 + Tm \times s) / \{ Km \times (1 + T2 \times s) \} \dots (8)$$

このようにして、第1の減算処理部3の出力から操作量uが演算されて信号出力部5を介して制御対象プロセス20へ出力され、また内部モデル出力演算部6bへ出力される。

【0019】次に、内部モデル6は、内部モデル記憶部6aに記憶されたゲインKm、むだ時間Lm、及び時定*

$$Gm = Km \times \exp(-Lm \times s) / (1 + Tm \times s) \dots (9)$$

【0020】次に、第2の減算処理部8は、制御量入力部7を介して入力された制御対象プロセス20からの制御量yから内部モデル出力演算部6bからの参照制御量ymを減算してフィードバック量eを出力する。そして、このフィードバック量eが上記のように第1の減算処理部3に入力される。これで、このIMCコントローラからなるフィードバック制御系が成立する。

【0021】ここで、制御対象プロセス20に変更があった場合は、図4の例のIMCコントローラでは内部モデル16を変更した後にフィルタ部12の特性を調整する必要があったが、本実施例のIMCコントローラでは、内部モデル6を変更するために内部モデル記憶部6※50

*き直したものである。

【0015】次に、このようなIMCコントローラの動作として、まず目標値フィルタ部2及び目標値・外乱フィルタ部4aの時定数を決定する時定数変更処理部9の動作を説明する。目標値フィルタ部2の特性を決定する第1の時定数をT1、目標値・外乱フィルタ部4aの特性を決定する第2の時定数をT2とすると、時定数変更処理部9は、内部モデル6のパラメータを記憶している内部モデル記憶部6aから出力された内部モデル6のむだ時間から第1の時定数T1及び第2の時定数T2を次式にて演算する。

$$\dots (3)$$

$$\dots (4)$$

※のオペレータ等によって設定され、目標値入力部1を介して目標値フィルタ部2に入力される。目標値フィルタ部2は、目標値rを時定数変更処理部9から出力された第1の時定数T1によって次式のように決定される伝達関数F1の特性で出力する。

$$\dots (5)$$

20★フィルタ部4aは、第1の減算処理部3の出力を時定数変更処理部9から出力された第2の時定数T2によって次式のように決定される伝達関数F2の特性で出力する。

$$\dots (6)$$

☆モデル6のゲイン及び時定数により次式となり、図4の例と同様にむだ時間Lmの要素を除いた内部モデル6の伝達関数Gmの逆数となっている。

$$\dots (7)$$

◆【0018】によって、操作量演算部4全体としての伝達関数は次式となる。

$$\dots (8)$$

*数Tmからなるこれらのパラメータによって、制御対象プロセス20を1次遅れとむだ時間の要素を有するものとして数式表現したものであり、内部モデル出力演算部6bにて操作量演算部4から出力された操作量uから参照制御量ymを演算する。その伝達関数Gmは次式となる。

$$\dots (9)$$

※aに記憶されたパラメータを制御対象プロセス20に合わせて変更するだけで対応できる。

【0022】すなわち、内部モデル6のむだ時間Lmが変更されることにより、時定数変更処理部9から新たな第1の時定数T1及び第2の時定数T2が出力されて目標値フィルタ部2、目標値・外乱フィルタ部4aの伝達関数F1、F2が変更されるので、制御の知識を有する専門家が調整し直す必要がなくなる。したがって、制御対象プロセス20に変更があってもオペレータの調整操作が少ない汎用的なIMCコントローラを実現できる。

【0023】なお、本実施例のIMCコントローラによる制御系は、図4の例の制御系において、フィルタ部1

7

8

2を目標値・外乱フィルタ部4aにし、目標値rに対し
て目標値フィルタ部2を追加した制御系に相当するの *

*で、式(1)から制御量yは次式となる。

$$y = F1 \times F2 \times Gp \times Gc \times r / \{1 + F2 \times Gc \times (Gp - Gm)\} \\ + (1 - F2 \times Gm \times Gc) \times d / \{1 + F2 \times Gc \times (Gp - Gm)\} \\ \dots (10)$$

【0024】すなわち、式(10)に示すように外乱dにかかると右辺第2項 $[(1 - F2 \times Gm \times Gc) \times d / \{1 + F2 \times Gc \times (Gp - Gm)\}]$ には目標値・外乱フィルタ部4aの伝達関数F2のみが関係しているの
で、設計の際は外乱dについては目標値・外乱フィルタ部4aで調整する。また、右辺第1項 $[F1 \times F2 \times Gp \times Gc \times r / \{1 + F2 \times Gc \times (Gp - Gm)\}]$ から、目標値rについては目標値・外乱フィルタ部4aの調整後に目標値フィルタ部2を調整する。つまり、外乱dに対しては伝達関数F2という1次遅れの特性となり、目標値rに対しては伝達関数F1×F2という2次遅れの特性となる。

【0025】図3は本実施例のIMCコントローラをタンク内の液面の高さの制御に使用したときの目標値追従性を示す図である。縦軸は液面の高さ(制御量y)、横軸は時間、yfは本実施例のIMCコントローラにおいて第1の時定数T1及び第2の時定数T2を固定して制御した場合の制御量である。図3(a)は、0秒にて目標値r(一点鎖線)を液面の高さ4cmとして入力し、その制御結果の液面の高さである制御量y(実線)を求めたシミュレーション結果である。

【0026】ここで、タンク内の液体という制御対象プロセス20のゲインを4、0、むだ時間を55秒、時定数を10秒とし、本実施例の内部モデル6のゲインKm、時定数Tmを制御対象プロセス20と同じとし、むだ時間Lmについてはモデル同定誤差が10%あったとして50秒とする。また、第1の時定数T1、第2の時定数T2を決定する時定数変更処理部9の定数A、Bを0.3とする。よって、式(3)、(4)より第1の時定数T1、第2の時定数T2は15秒であり、また第1の時定数T1及び第2の時定数T2を固定した場合も15秒とする。図3(a)では、第1の時定数T1及び第2の時定数T2が両方共同じなので、本実施例のIMCコントローラによる制御量yとこれらを固定したコントローラによる制御量yfとは当然同じ結果である。

【0027】これに対して、図3(b)は図3(a)と同様の条件で、制御対象プロセス20のむだ時間を110秒とし、内部モデル6のむだ時間Lmを100秒としたときの結果であり、よって本実施例のIMCコントローラの第1の時定数T1及び第2の時定数T2は30秒※

※となる。図3(b)では、第1の時定数T1及び第2の時定数T2を固定した場合(15秒)に比べて、本実施例のIMCコントローラは良好な制御結果で制御の安定性を維持できることが分かる。

【0028】

【発明の効果】本発明によれば、内部モデルのむだ時間に連動して目標値フィルタ部及び目標値・外乱フィルタ部の特性を変更することにより、制御対象プロセスのモデル同定が行われたときにフィルタ部の特性を調整する必要のない汎用性の高いIMCコントローラを実現でき、制御の知識を有しないオペレータであってもIMCコントローラの利点を生かした制御を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の1実施例を示すIMCコントローラのブロック図である。

【図2】図1のIMCコントローラを用いた制御系のブロック線図である。

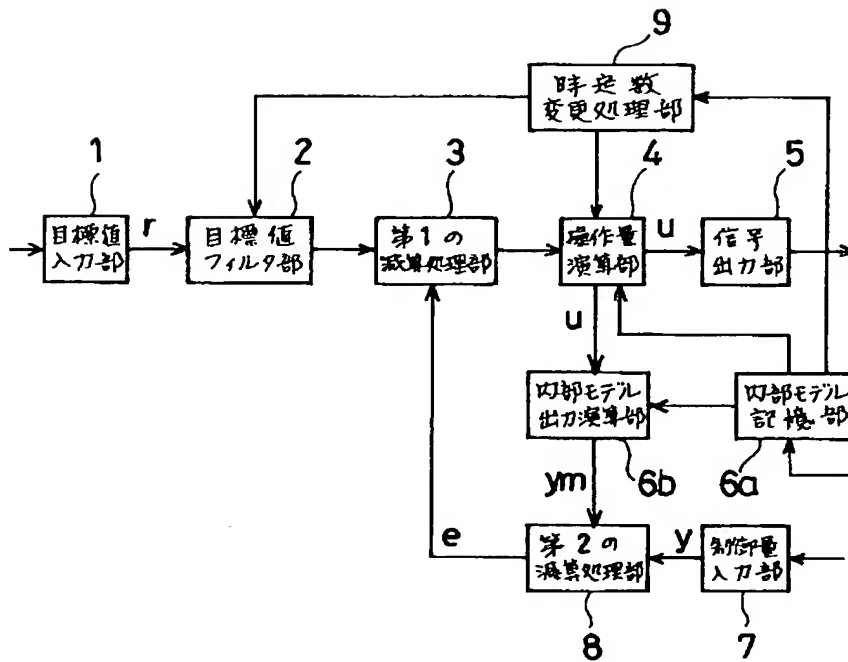
【図3】図1のIMCコントローラの目標値追従性を示す図である。

【図4】従来のIMCコントローラを用いた制御系のブロック線図である。

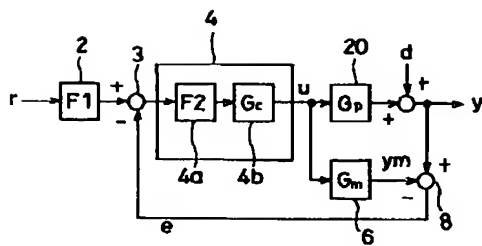
【符号の説明】

- 2 目標値フィルタ部
- 3 第1の減算処理部
- 4 操作量演算部
- 4a 目標値・外乱フィルタ部
- 4b 操作部
- 6a 内部モデル記憶部
- 6b 内部モデル出力演算部
- 8 第2の減算処理部
- 9 時定数変更処理部
- T1 第1の時定数
- T2 第2の時定数
- e フィードバック量
- r 目標値
- u 操作量
- y 制御量
- ym 参照制御量

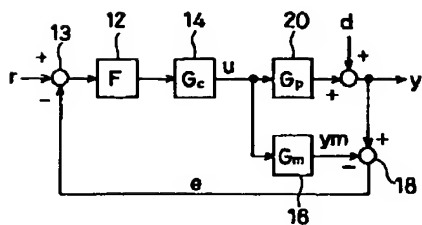
【図1】



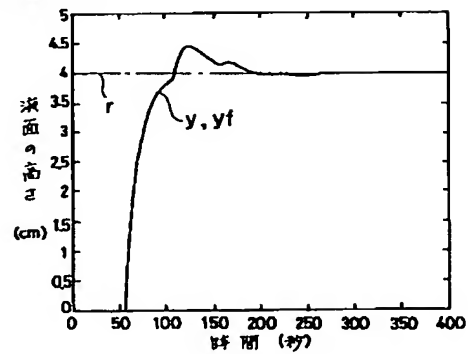
【図2】



【図4】



【図3】

(a) $L_m = 50$ 秒(b) $L_m = 100$ 秒